

# ESTRATÉGIA DE PROVA: MECANISMO DE REGULAÇÃO, INFLUÊNCIA DOS FATORES AMBIENTAIS E CIRCADIANOS

## Pacing strategy: regulatory mechanism, influence of environmental factors and circadian rhythms

<sup>1,3</sup> Alan Lins Fernandes, <sup>2</sup> Rômulo Bertuzzi, <sup>1</sup> Adriano Eduardo Lima-Silva

<sup>1</sup> Grupo de Pesquisa em Ciências do Esporte. Departamento de Educação Física e Ciência do Esporte – CAV. Universidade Federal de Pernambuco e Universidade Federal de Alagoas, Brasil.

<sup>2</sup> Grupo de Estudos em Desempenho Aeróbio da Escola de Educação Física e Esporte – EEFE. Universidade de São Paulo, Brasil.

<sup>3</sup> Laboratório de Nutrição e Metabolismo Aplicados à Atividade Motora da Escola de Educação Física e Esporte – EEFE. Universidade de São Paulo, Brasil

Correspondente: **Alan Lins Fernandes** (alan\_lins30@hotmail.com)

Av. Professor Mello Moraes, Cidade Universitária, Butantã, São Paulo – SP, Brasil.

CEP: 05508-030.

**RESUMO:** o pacing é um dos principais fatores determinantes do desempenho em esportes cíclicos. Apesar de poucas evidências sobre as estratégias mais recomendadas para os diferentes tipos de provas, compreender seus tipos e possíveis fatores intervenientes (fisiológicos e ambientais) pode representar um aumento no desempenho. Portanto, o presente trabalho identificou o estado da arte sobre os tipos de pacing, mecanismos de regulação e a influência dos fatores ambientais e circadianos. Os eventos de menor duração geralmente são caracterizados por um pacing “all-out”, enquanto, as tarefas mais longas podem variar entre pacing constante, negativo, positivo ou, ainda, comportamentos diversos (pacing parabólico ou variado). Os mecanismos de regulação do pacing baseiam-se nos processos de teleantecipação, fatores ambientais, aspectos motivacionais e experiências prévias, os quais podem exercer influência no desempenho. Entretanto, existem poucas evidências até o momento que suportem algum efeito do ritmo circadiano sobre o pacing.

**Palavras-chave:** Pacing; Mecanismo de Regulação; Ritmos Circadianos.

**ABSTRACT:** pacing strategy is one of the main factors of performance. Although there are little evidences about recommendations for various events, to understand the types and intervening factors (physiological and environmental) could represent improvement in the performance. Therefore, the present review identified the types of pacing strategy, regulatory mechanisms, environmental influences and circadian factors. In short duration events usually the athletes enforce high power output called "all-out" pacing strategy. On the other hand, longer tasks may vary between constant, positive and negative pacing strategy or even varying (parabolic or varied pacing). The regulatory mechanisms of pacing strategy are based on teleoantecipation processes, environmental factors, motivational aspects and previous experiences, which represent components able to influence the performance. However, there is no evidence until the moment supporting any circadian effect on pacing strategy.

**Key-words:** Pacing Strategy; Regulatory Mechanism; Circadian Rhythms.

## INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, as estratégias de prova, também conhecidas como pacing, têm demonstrado um importante papel nos eventos atléticos de características cíclicas. O pacing pode ser definido como a variação na produção de potência (PP) ou velocidade que ocorre ao longo de uma determinada prova, com o objetivo de regular o gasto energético e concluir a tarefa em um menor tempo possível<sup>1-3</sup>. Em provas onde a velocidade é relativamente alta (ex: ciclismo), esta definição também compreende a distribuição do esforço fisiológico, intensidade ou potência<sup>4</sup>, porque há momentos na prova (por exemplo, subidas ou ventos com resistência oposta ao participante) em que a velocidade é baixa, enquanto a potência é alta, ou, no caso de descidas e ventos a favor, esta ordem se dá de maneira inversa<sup>5</sup>.

A variedade dos tipos de pacing tem sido observada durante diferentes tipos e condições dos exercícios<sup>2,6-24</sup>. Os tipos mais comuns de pacing são "all-out", positiva, negativa, constante, em forma parabólica e variada<sup>24</sup>. Neste cenário, o pacing adotado pelos sujeitos é tão importante quanto à eficiência no uso das reservas energéticas, uma vez que a eficiência compreende um dos fatores que permite aos atletas concluírem a tarefa em um menor tempo possível.

Nos últimos anos estudos têm investigado o mecanismo fisiológico pelo qual o *pacing* é regulado<sup>25,26</sup>. A princípio aceitou-se a hipótese de um "regulador central" que direcionava a ativação muscular<sup>24</sup>, levando em consideração as respostas

periféricas como parte integrante deste sistema antes e durante a atividade <sup>26</sup>. Esta idéia foi inicialmente proposta por Ulmer <sup>25</sup> e corresponde ao que ele denominou como “teleantecipação”, o qual se baseia na relação entre os sistemas periférico e nervoso central (SNC), de modo que a medida produto seria a Percepção Subjetiva do Esforço (PSE) e, portanto, refletiria diretamente na regulação do *pacing*.

Dentre os principais fatores que parecem influenciar o *pacing* destacam-se a temperatura do ambiente, hiperóxia, hipóxia, duração do evento, fatores motivacionais, luz, som, ventos, experiências prévias, *feedback* externo e competitividade. Entretanto, pouco se tem estabelecido sobre os mecanismos que desencadeiam as alterações no desempenho decorrente das mudanças ambientais <sup>27-29</sup> e, mais especificamente, a possível relação entre ritmos circadianos e *pacing*. Portanto, o objetivo da presente revisão foi investigar os tipos de *pacing*, seus mecanismos de regulação, influência dos fatores ambientais e circadianos.

## 1. TIPOS DE *PACING*

Uma variedade nos tipos de *pacing* tem sido observada durante diferentes tipos de provas <sup>2,23,24</sup>. Dentre os *pacings* mais comuns encontram-se a “all-out”, positiva, negativa, constante, em forma parabólica e variada <sup>24</sup>.

### 1.1 *Pacing* “All-out”

De modo geral, o “all-out” pode ser caracterizado como uma aplicação de potência máxima logo no início da prova com a intenção de mantê-la elevada até o final da tarefa, embora haja uma gradativa queda em sua produção após os instantes iniciais. Van Ingen Schenau et al. <sup>30</sup> defenderam o “all-out” como estratégia ideal para eventos curtos (exemplo: 100 m de corrida ou 1000 m no ciclismo).

Durante uma prova de 100 m os corredores chegam a gastar mais da metade da prova na fase de aceleração, refletindo em uma demanda de 20-25% da energia total produzida <sup>24</sup>. Desta forma, o custo energético associado com a aceleração pode interferir significativamente no desempenho em provas curtas <sup>30</sup>, reafirmando a estratégia all-out como a mais recomendada.

A energia cinética é resultante do movimento. Graças a ela o gasto energético para manter um ritmo constante é menor que a energia necessária para acelerar no início da prova, pois a cada aceleração, a velocidade do instante subsequente aumenta progressivamente <sup>24, 30</sup>. Diante disso, pode-se assumir como se uma “nova

inércia” estaria sendo rompida para permitir aumentar a aceleração em cada instante da prova. Portanto, Abbiss & Laursen <sup>24</sup> assumem que em virtude do aumento da energia cinética, a energia necessária para manter um ritmo constante é menor que a energia requerida para acelerar, especialmente quando a inércia é maior (por exemplo, maior massa e velocidade).

Uma vez que o gasto energético necessário para a aceleração é inevitável, acredita-se que a energia mal distribuída no começo desses eventos de curta duração, como alguma potência submáxima inicial abaixo da potência ótima, resulte em maior tempo de prova e queda no desempenho <sup>3,30</sup>. Esta hipótese nos permite acreditar que iniciar a prova em alta potência e tentar mantê-la no decorrer da mesma, contribui para minimizar a perda de energia cinética no final. Portanto, os eventos de curta duração (< 1 minuto) podem ser beneficiados com o “all-out”, ainda que uma parte da energia de saída seja perdida para a resistência de fricção <sup>3,30</sup>. Todavia, o *pacings* “all-out” não é recomendado para esforços mais longos (> 1 minuto) em virtude do tempo submetido às resistências aerodinâmicas ou hidrodinâmicas, refletindo em maior custo energético referente ao gasto para aceleração <sup>1,31-33</sup>.

### **1.2 *Pacing* positivo**

O *pacings* positivo é compreendido como um declínio gradual da velocidade do atleta no decorrer do evento em função do tempo, mesmo após uma saída rápida <sup>24</sup>. Esta estratégia tem demonstrado claro perfil <sup>34</sup> em provas internacionais de 800 m <sup>35</sup>, <sup>36</sup>, sem evidências de sprint final, e é caracterizado por elevados valores de consumo de oxigênio (VO<sub>2</sub>) quando comparados ao *pacings* de ritmo constante (92,5 ± 3,1 % vs 89,3 ± 2,4%) <sup>36</sup>, sugerindo que uma saída positiva levaria a um melhor desempenho e maior intensidade relativa.

Corbett <sup>34</sup> realizou um estudo com base nos registros de tempo total dos campeonatos mundiais 2007 e 2008 com o objetivo de investigar o *pacings* adotado durante prova de ciclismo contrarrelógio (CR) de 1 km. As estratégias adotadas pelos atletas em cada campeonato foram similares, ambas caracterizadas por *pacings* positivo. A primeira volta (250 m), a qual foi utilizada para vencer a inércia, apresentou a correlação mais forte com o tempo total de prova ( $r = 0,73$ ;  $p < 0,01$ ), demonstrando a importância de uma largada rápida sobre o tempo total da tarefa. Contudo, cumpre destacar que uma das limitações do supracitado estudo foi

analisar somente a velocidade, haja visto que velocidade e potência podem não apresentar comportamentos similares, e que a produção de potência compreende a variável que melhor se relaciona com demanda energética e com maior capacidade de predição sobre desempenho em provas de ciclismo.

Ao avaliar o padrão espontâneo de gasto energético em ciclistas bem treinados sob diferentes CR (500 m, 1000 m, 1500 m e 3000 m), Foster et al.<sup>31</sup> evidenciaram que a estratégia mais observada no teste de 1500 m foi o  *pacing*  positivo. Já os CR de 500 m e 1000 m foram caracterizados por elevados valores de potência ( *pacing*  all-out), enquanto na prova de 3000 m o  *pacing*  predominante foi o de ritmo constante.

Apesar de não haver um consenso na literatura sobre qual a prova ideal para se adotar o  *pacing*  positivo, acredita-se que esta estratégia poderia lograr êxito em tarefas de moderada duração (2 – 4 minutos), onde romper a inércia com alta potência no início ainda gere benefício no desempenho final. Dessa forma, a estratégia de  *pacing*  positivo pode ser considerada uma extensão da estratégia “all-out” (utilizada em provas de curtíssima duração).

### **1.3 Pacing Negativo**

Considera-se uma estratégia negativa o aumento gradativo na velocidade ou potência ao longo do evento<sup>24</sup>, geralmente caracterizado por uma saída mais lenta, que pode estar acompanhado de menor e/ou mais tardia concentração de lactato sanguíneo<sup>37</sup> e aumento progressivo do consumo de oxigênio ( $VO_2$ )<sup>36</sup>. Estes pressupostos fundamentam-se nos achados de Mattern et al.<sup>37</sup> ao comparar os  *pacing*  positivos e negativos com um  *pacing*  auto-selecionado durante o ciclismo CR de 20 km, onde a Potência ( $W.kg^{-1}$ ),  $VO_2$  ( $L.min^{-1}$ ) e % $VO_2$  relativo ao Limiar de Lactato foram significativamente menores nos minutos iniciais da prova no  *pacing*  negativo em comparação aos  *pacings*  auto-selecionado e positivo. Além disso, a saída relativamente baixa, isto é,  *pacing*  negativo (15% menor que a auto-selecionada) demonstrou menor média de tempo final, quando comparado com a saída relativamente alta, isto é,  *pacing*  positivo (15 % maior que a auto-selecionada).

Em provas consideradas de média à longa duração (> 4 minutos), as evidências apontam o  *pacing*  negativo como um dos mais utilizados<sup>24</sup>, demonstrado pelo aumento gradativo da potência<sup>24, 31, 37-39</sup> e velocidade<sup>24,31</sup> até o final do evento, apesar de não estar totalmente elucidado na literatura.

### **1.4 Pacing Constante**

O *pacing* constante diz respeito às pequenas variações de potência que ocorrem aleatoriamente ao longo de um valor médio, desde a saída até o final da tarefa, demonstrando certa estabilidade ao longo da prova. Diferentemente do que ocorre nos eventos de curta duração, onde a estratégia de largada pode influenciar significativamente o desempenho final<sup>24</sup>, em eventos com maior duração parece plausível assumir que esta fase de largada exerce menos influência<sup>2,31</sup>, possivelmente, em virtude do menor tempo gasto na fase de aceleração<sup>24</sup>.

Além do *pacing* negativo, outras evidências<sup>24</sup> sugerem a estratégia constante como também sendo ideal para eventos com duração acima de 4 minutos, embora alguns autores já tenham demonstrado a adoção deste *pacing* em provas com duração a partir de 2 minutos<sup>1</sup>. Atkinson et al.<sup>32</sup> consideram que uma distribuição constante de potência é fisiologicamente e biofísicamente ideal para CR longos (exemplo: 14 km de ciclismo), desde que realizados em condições invariadas de vento e gradientes.

Reduzir algumas variações no *pacing* deve ser uma proposta interessante frente às situações que incluem alto grau de resistência de fricção, uma vez que o ritmo constante minimiza as flutuações de velocidade, este pode resultar em gasto energético otimizado<sup>40</sup> e possível otimização do tempo total durante provas longas<sup>41</sup>. Assim, o *pacing* constante tem sido adotado em algumas provas de ciclismo com duração que variaram entre 2-30 minutos<sup>1, 31, 33, 42</sup>.

### **1.5 Pacing variado**

O *pacing* variado é um termo que tem sido utilizado para definir as flutuações na intensidade ou ritmo observadas durante o exercício<sup>4,33</sup>, usualmente adotado na intenção de contrabalancear as variações externas<sup>41</sup>. Do ponto de vista biofísico, o *pacing* ideal deve envolver aumento da potência em subidas e sessões de ventos contrários, assim como, diminuição da potência em descidas e ventos à favor<sup>32</sup>.

Comumente, as alterações vistas na potência durante exercício ocorrem com a intenção de manter uma distribuição constante de velocidade. Portanto, alguns artigos referem-se a essas variações como *pacing* variado<sup>24</sup>.

A técnica adotada pelos atletas deve ser especialmente importante para o *pacing* durante eventos em que há alta força de resistência da água ou do vento, como por

exemplo, natação, patinação e ciclismo<sup>24,43</sup>. De alguma forma, a estratégia variada deve ser alinhada intimamente com as mudanças fisiológicas que ocorrem no indivíduo frente ao esforço, onde há trajetos de maior exigência da potência e, portanto, maior demanda energética da tarefa<sup>36,41</sup>. Desde que esta alteração na potência não ultrapassem  $\pm 5\%$  da potência média de prova, os valores médios de frequência cardíaca,  $\text{VO}_2$ , lactato sanguíneo e percepção subjetiva de esforço não se alteram significativamente durante um CR de 1 hora ou 800 KJ em ciclismo, equivalente à aproximadamente 75% do  $\text{VO}_{2\text{max}}$ <sup>4</sup>, sugerindo que variar o ritmo não gera algum estresse fisiológico adicional. Ainda assim, mais pesquisas são fundamentais para compreender as implicações fisiológicas presentes no *pacing* variado, na intenção de evidenciar possíveis benefícios e efeitos limitantes dessa estratégia.

### **1.6 Pacing em forma parabólica**

As estratégias parabólicas (U, J e J inverso) apesar de não serem novas quanto a sua adoção em eventos esportivos, têm sido descritas na literatura mais recentemente através da utilização de técnicas mais acuradas para medir potência e tempo por distância percorrida<sup>33,43,44</sup>. De modo geral, o *pacing* em forma parabólica pode apresentar uma saída rápida, seguido de uma redução progressiva na velocidade durante uma prova de resistência (> 4 minutos), geralmente na porção média da prova, e posterior aumento da velocidade na última parte do evento<sup>43, 45</sup> resultando nas formas de U (início e fim relativamente alto com declínio da velocidade na fase medial), J (início sutilmente mais baixo que a estratégia em U logo no início da prova, seguido de declínio na velocidade durante a fase média e considerável aumento na última parte do trajeto) e J inverso (mesmas proporções do J, só que de forma invertida, ou seja, inicia-se com alta velocidade, sucedido por um declínio na fase média e sutil elevação na fase final)<sup>24</sup>.

Corroborando com a definição citada acima, Garland<sup>43</sup>, ao determinar o *pacing* adotado por remadores de elite em competições de 2 km (Jogos Olímpicos em 2000 e Campeonatos Mundiais em 2001 e 2002), evidenciou que os primeiros 500 m apresentaram maiores médias de velocidade (103,3%) que os demais trechos em remada na água (1000 m, 1500 m e 2000 m com 99,0%, 98,3% e 99,7%, respectivamente). Já os valores de remada no ergômetro também apresentaram distribuições similares para os mesmos trechos (101,5%, 99,8%, 99,0% e 99,7%,

respectivamente), indicando que todos os atletas adotaram estratégias parabólicas em forma de J inverso, uma vez que no último quartil das provas percebeu-se o aumento gradativo na velocidade.

Apesar de algumas pesquisas demonstrarem a adoção do *pacinig* parabólico em diferentes competições <sup>43</sup>, esta estratégia ainda apresenta divergência no que tange a sua identificação. Em estudos com ciclistas bem treinados numa prova CR de 20 km sob calor, Tucker et al. <sup>45</sup> perceberam redução na potência dos atletas ao longo da tarefa, com intuito de evitar efeitos adversos ao desempenho oriundos da hipertermia por esforço. Porém, nos últimos 5% da prova a potência apresentou considerável aumento, representando, na verdade, a junção de duas diferentes estratégias (positiva no início e negativa no final) ao invés do *pacinig* parabólico, haja visto que o esperado no parabólico seria o aumento nos últimos 30% da prova <sup>24</sup>. Portanto, na prática, as estratégias parabólicas não são facilmente identificadas e, equivocadamente, são consideradas junções de uma ou mais estratégias listadas anteriormente.

## **2. MECANISMO DE REGULAÇÃO DO PACINING**

Ao longo dos anos, diversos estudos têm investigado fatores que podem nortear um desempenho atlético e que estão associados às estratégias de prova <sup>26, 46-48</sup>. Neste cenário surge o conceito de uma comunicação entre o sistema nervoso central e periférico proposta por St. Clair Gibson et al. <sup>23</sup> que seria capaz de regular a estratégia durante o exercício. Dessa forma, o nível de ativação muscular e, portanto, de intensidade no exercício tornam-se respostas influenciadas pelas informações periféricas como parte integrante no processo de monitoramento do desempenho <sup>24, 26</sup>. Em relação a isso, St. Clair Gibson et al <sup>23</sup> sugeriram que o simples fato de ter pensado na estratégia pretendida ao iniciar o exercício, já seria capaz de causar pequenos ajustes contínuos na potência durante a competição, e que estes se mantêm no decorrer das informações processadas entre o cérebro e os sistemas periféricos ao longo da prova.

Esta hipótese foi inicialmente proposta por Ulmer <sup>25</sup> e corresponde ao que ele denominou de “teleantecipação”. O prefixo *tele* foi introduzido por Jacob Levy Moreno (1889-1974) <sup>49</sup>, para nomear o conjunto de processos perceptivos que permitem que o sujeito tenha uma valoração correta do seu mundo circundante, de modo que os atletas antecipem o esforço requerido para completar uma



determinada tarefa através de uma harmonia entre as respostas internas (dentre elas, fisiológicas, biomecânica e cognitiva) e externas (ambientais) <sup>25</sup>.

A antecipação preocupa-se não apenas com as bases harmônicas da otimização do movimento, mas também a “teleantecipação” dos ajustes ideais do esforço, por meio de cálculos complexos, os quais evitam a exaustão precoce antes de se alcançar o ponto final da tarefa, levando em consideração as reservas metabólicas, taxas metabólicas atuais e o tempo necessário para finalizar o exercício <sup>25</sup>. Estas considerações acentuam a complexidade do sistema motor não somente aos aspectos biomecânicos, mas também, às regulações extramusculares das taxas metabólicas durante exercícios pesados <sup>25</sup>, cujos fatores de regulação (por exemplo, o sistema nervoso somático e o controle comportamental) baseiam-se nos contínuos mecanismos de feedback.

O princípio comum do controle motor é baseado na relação entre os sistemas periféricos (por exemplo, músculo esquelético) e sistema nervoso central (SNC) através de vias que levam as informações ao SNC (aférentes) e que trazem novas informações à periferia (eferentes) <sup>25</sup>. De acordo com essa visão, os sinais eferentes contêm informações sobre padrões biomecânicos de movimento (força, potência, velocidade, deslocamento, período de tempo, entre outros), decorrentes e regulados indiretamente pelas respostas dos canais somatossensoriais aférentes, os quais servem de base aos padrões de movimento e aprendizagem motora, contribuindo para uma melhor produção de potência (PP) e economia metabólica <sup>25</sup>.

A partir desse modelo, sugere-se que o *spacing* naturalmente escolhido por um atleta parece ser determinado de maneira subconsciente pelo SNC, baseado, dentre outros fatores, pelas experiências prévias com a tarefa e com as condições do sujeito no exato momento da prova <sup>46, 48, 49</sup>. Esses são alguns dos fatores que direcionam a escolha do sujeito por uma potência ideal para iniciar a tarefa, a qual é constantemente reajustada ao longo da competição <sup>46</sup>. A medida produto dessa integração entre sistemas (periférico e central) reflete na percepção subjetiva de esforço (PSE) do indivíduo em um dado momento. Dessa forma, o *spacing* parece ser regulado pela maneira como o indivíduo está percebendo o esforço, de modo a garantir que valores máximos de PSE sejam atingidos apenas ao final da tarefa <sup>50-52</sup>, podendo também sofrer influência significativa da condição inicial do atleta <sup>48, 49</sup>.

De acordo com esse modelo, o SNC passa a controlar de maneira dependente os níveis adequados de PSE em cada instante da prova, regulando o número de unidades

motoras que será recrutado em cada parte do evento e, conseqüentemente, o total de energia gasta em cada um desses segmentos <sup>46, 50, 53</sup>.

Existem diversas situações que podem interferir na regulação do  *pacing*  e, conseqüentemente, no desempenho. Dentre elas, o ambiente (ventos, luz, som, temperatura ambiente, música, motivação, competitividade), as experiências prévias e feedback externo são alguns dos fatores bem descritos na literatura. Já os aspectos circadianos no desempenho tem sido alvo de estudos nos últimos anos, embora ainda existam lacunas científicas que precisam ser preenchidas quanto a sua possível influência sobre o  *pacing* . A seguir serão abordados estudos que descreveram os efeitos desses fatores e como eles corroboram com o modelo apresentado nessa sessão.

### **3. INFLUÊNCIA DO AMBIENTE**

#### ***3.1 Temperatura e fração de oxigênio no ar ambiente***

Além dos mecanismos integrados de auto-regulação pelos sistemas periférico e central, a PSE pode sofrer influências do ambiente em que o exercício está sendo realizado. Em estudos de Abbiss et al., <sup>44</sup>, o qual se propuseram à examinar a influência da temperatura dos ambientes quente (34° C) e frio (10° C) sobre a potência, ativação muscular, temperatura corporal e PSE durante um  *pacing*  auto-selecionado numa prova de 100 km de ciclismo, foi verificado que a potência e ativação muscular (bíceps femoral e vasto lateral) foram menores ( $p < 0,05$ ) nos ambientes quentes, apresentando elevada média de temperatura retal, quando comparada ao ambiente frio (39,1 ° C vs 38,8° C,  $p < 0,05$ , respectivamente), existindo uma significativa correlação entre potência e sensação térmica ( $r > 0,68$ ;  $p < 0,001$ ), mas não entre sensação térmica e PSE. Isso leva a crer que exercício dinâmico prolongado no calor induz a um estresse térmico capaz de influenciar no  *pacing*  e na fadiga muscular, mantendo uma taxa de aumento linear na PSE em ambos os casos.

Segundo Ely et al.<sup>54</sup>, o estresse de ambientes quentes diminuem o desempenho aeróbio, apesar de poucas pesquisas terem focado no desempenho quando a tarefa selecionada infere modestas elevações na temperatura corporal (< 38,5° C). Em seu estudo, ao verificarem o desempenho aeróbio e as estratégias adotadas em 15 minutos de CR (cinco blocos de 3 minutos) sob ambiente refrigerado (21° C, 50% frequência cardíaca, isto é, FC) e quente (40° C, 25% FC), evidenciou-se um aumento contínuo da temperatura corporal e FC em ambos os CR, enquanto que a temperatura da pele foi

maior no ambiente quente ( $36.1^{\circ} \pm 0.40^{\circ} \text{ C}$  vs  $31.1^{\circ} \pm 1.14^{\circ} \text{ C}$ ). O trabalho total no ambiente quente foi 17% menor que o do ambiente refrigerado ( $147.7 \pm 23.9 \text{ kJ}$  vs  $177.0 \pm 25.0 \text{ kJ}$ ,  $p < 0,05$ , respectivamente). Os voluntários demonstraram adotar um  *pacing* positivo em ambiente quente por não conseguirem manter a mesma estratégia iniciada, diferentemente da condição refrigerada, cujo  *pacing* foi o constante. De modo geral, estes achados nos permitem acreditar que durante CR, a hipertermia excessiva é evitada a custo de uma redução gradual no ritmo ao longo do tempo, demonstrando um mecanismo de regulação destinado a evitar as más consequências da hipertermia excessiva durante o exercício.

Apesar da disparidade entre as temperaturas ambientais impostas aos sujeitos dos estudos de Abiss et al.<sup>44</sup> e Ely et al.<sup>54</sup>, esses achados reforçam a idéia que os fatores extrínsecos são fortemente importantes na regulação das estratégias adotadas e, conseqüentemente, preconizam uma percepção correta do ambiente circundante como já demonstrado na sessão anterior.

Outro fator importante que parece regular o  *pacing* refere-se à fração ou pressão parcial de oxigênio do ar ambiente. Segundo Tucker & Noakes<sup>29</sup>, as mudanças na disponibilidade de oxigênio atmosférico, medidos pela fração de ar inspirado ( $\text{FiO}_2$ ), também alteram o  *pacing* e os padrões de ativação do músculo esquelético durante exercício. Para testar a hipótese que a hipóxia afeta o desempenho, independentemente do feedback aferente e da fadiga periférica, Millet et al.<sup>55</sup> realizaram experimentos em indivíduos submetidos a completa oclusão vascular do músculo recrutado na tarefa (bíceps braquial) em diferentes condições ambientais de  $\text{O}_2$ : hipóxia severa ( $\text{FiO}_2$ , 9%), hipóxia moderada ( $\text{FiO}_2$ , 14%), normóxia ( $\text{FiO}_2$ , 21%) e hiperóxia ( $\text{FiO}_2$ , 30%). Foram monitorados: o desempenho (medido pelo número de contrações isométricas submáximas do flexor do cotovelo até a exaustão); espectroscopia de infravermelho pré-frontal; parâmetros de pulso de alta frequência e respostas da eletroestimulação. O desempenho foi reduzido em 10-15% nas condições de hipóxia severa (saturação arterial de  $\text{O}_2$ , aproximadamente 75%) comparada com hipóxia moderada (90%) ou Normóxia e Hiperóxia (> 97%), demonstrando que em hipóxia severa o desempenho pode ser alterado, independentemente das respostas aferentes e da fadiga central, além de poder ser parcialmente reduzido a partir dos mecanismos relacionados a oxigenação cerebral.

Da mesma forma, Tucker et al.<sup>56</sup> descobriram aumento de 5% ( $p < 0,01$ ) no desempenho de ciclistas em uma prova de 20 km sob condições de hiperóxia ( $\text{FiO}_2$ ,

40%), comparado com normóxia ( $FiO_2$ , 21%). Os autores mensuraram a potência, FC, lactato sanguínea, atividade eletromiográfica do vasto lateral e PSE a cada 2 km. Mudanças na FC, concentração plasmática de lactato e PSE durante os CR (hiperóxia e normóxia) foram similares. A melhora do desempenho ( $p < 0,001$ ) foi associada com maior média de potência de todo trajeto em condições hiperóxicas ( $292 \pm 36$  W), comparado com a média de potência em condições normóxicas ( $277 \pm 35$ ). Apesar de ambos CR apresentarem valores significativamente ( $p < 0,001$ ) maiores nos sprints finais e nas atividades eletromiográficas do último quilômetro, houve clara demonstração de diferentes estratégias adotadas entre as condições hiperóxicas ( *pacing* constante) e normóxicas ( *pacing* positivo). Os níveis de ativação do músculo esquelético (medidos por atividades eletromiográficas integradas) durante estratégia auto-selecionada em CR se mantiveram elevados em hiperóxia, o qual foi interpretado como uma indicação de que a disponibilidade aumentada de oxigênio habilitou um alto grau de ativação muscular e, desta forma, maior potência em hiperóxia que normóxia. Estes resultados sugerem que a ativação muscular e a intensidade do exercício são reguladas diferentemente em condições de hipóxia e hiperóxia, o qual reflete na alteração do  *pacing* na intenção de manter o crescimento gradual da PSE de maneira similar entre as condições.

### **3.2 Luz, Som e Ventos do ambiente**

Apenas um estudo verificou o efeito da luz e som ambiente sobre o  *pacing*. Em estudo realizado por Kriel et al. <sup>57</sup>, cujo objetivo foi verificar a influência dos efeitos luminosos e sonoros do ambiente em um CR de 40 km em ciclistas, foi evidenciado que condições de laboratório com luz normal ou em escuridão absoluta, com corretos ou manipulados sinais sonoros de temporização (frequentemente utilizados em testes que ditam ritmos) e sem outros sinais de temporização, não apresentaram diferenças significativas no tempo total de prova, potência, frequência cardíaca e PSE. Esses resultados indicam que os mecanismos cerebrais de controle responsáveis pelo  *pacing* não são afetados pela manipulação de sinalização luminosa ou auditiva no ambiente.

Quanto ao vento, Atkinson & Brunskill <sup>33</sup> examinaram o efeito de um  *pacing* auto-selecionado e dois  *pacing* impostos (Constante e Variado) durante CR de 16,1 km (divididos em dois blocos de 8,05 km) em um cicloergômetro, com simulação de trajeto plano, ventos contrários na primeira metade da prova e ventos á favor na última metade. O primeiro CR foi o  *pacing* auto-selecionado e a partir dele calculou-se a

potência das estratégias impostas: 1) Constante, manteve-se ao longo dos 16,1 km na mesma média de potência registrada no *pacings* auto-selecionado; 2) Variado, aumentou-se 5% da potência média encontrada no primeiro CR apenas nos primeiros 8,05 km (ventos contrários), reduzindo a potência na segunda metade da prova para que, ao final, a potência média total fosse igual aos dois testes anteriores. O tempo médio para completar os CR constante e variado ( $1661,6 \pm 130$  s e  $1659,6 \pm 135$  s, respectivamente) foram mais rápidos que o *pacings* auto-selecionado ( $1671,6 \pm 131$  s). Estes resultados sugerem que aumentar a potência quando existe vento contrário no início confere uma melhora no tempo (10 s) para o ritmo constante e 12 s para o *pacings* variado, ao comparar com o primeiro CR (auto-selecionado). Portanto, Atkinson & Brunskill<sup>33</sup> sugerem que a estratégia variada compreende a escolha mais indicada em caso de variações do ambiente (subidas, descidas, ventos a favor e contrários).

### **3.3 Experiências prévias, Duração do evento, Feedback externo, Fatores Motivacionais e Competitividade**

Experiências prévias podem contribuir para a regulação da PSE e, portanto, ao desempenho mesmo antes do início da tarefa, influenciando desde a escolha da estratégia ideal até o instante final da prova de CR em ciclistas experientes<sup>58,59</sup>. Williams et al.<sup>22</sup> avaliou a importância das experiências prévias, conhecimento e feedback da distância em sujeitos destreinados que nunca competiram em quaisquer modalidades do ciclismo e que não pedalavam regularmente. Para tanto, 20 sujeitos fisicamente ativos foram alocados em dois grupos randômicos (CON e EXP), sendo o EXP aqueles que não receberam nenhuma informação acerca da distância a ser percorrida, nem feedbacks durante a prova. Já o grupo CON recebeu ambas as informações. Cada grupo realizou dois CR de 4 km com intervalo de 17 minutos entre eles. Os tempos do primeiro e segundo CR no grupo controle foram  $443 \pm 33$  s e  $461 \pm 37$  s, respectivamente, enquanto no grupo experimental  $471 \pm 63$  s e  $501 \pm 94$  s, respectivamente. O teste t pareado revelou que o tempo para completar as provas do grupo controle foi menor no primeiro CR comparado ao segundo CR do grupo controle ( $t_{10} = -5,81$ ,  $p = 0,001$ ) e do grupo experimental ( $t_{10} = -2,29$ ,  $p = 0,04$ ), reforçando a ideia que sujeitos experientes com conhecimento sobre a distância a ser percorrida aliado aos feedbacks externos tendem a melhorar seus desempenhos.

A duração do evento também é considerada um dos fatores externos mais importantes que interfere diretamente no que poderia ser considerado o melhor  *pacing* <sup>24</sup>. De alguma forma ela parece estar relacionada com mecanismos de antecipação (ver item 2) capazes de influenciar fortemente a regulação das estratégias observadas ou manipuladas<sup>29</sup>. É a partir do conhecimento prévio da duração estimada do evento que o sistema nervoso central se prepara para escolher a estratégia mais eficiente. Portanto, informações incorretas acerca da duração ou distância do evento poderiam gerar alterações nas taxas de trabalho iniciais (se muito ou pouco intenso) e evitar uma interpretação apropriada do feedback aferente, contribuindo para insucesso da tarefa<sup>46</sup>.

Mauger et al.<sup>60</sup> evidenciaram que em  *pacing*  auto-selecionado, feedbacks incorretos ofertados pelos treinadores acerca da real situação de velocidade e distância causam resultados negativos nas fases iniciais e finais da prova, demandando um tempo significativamente maior para completá-la, quando comparado com situação controle ( $11.66 \pm 0.26$  m/s vs  $11.4 \pm 0.39$  m/s).

Aliado a isso, outros fatores também são importantes na regulação do  *pacing* , dentre eles os aspectos motivacionais. Recente estudo de Lima-Silva et al.<sup>6</sup> demonstraram que o simples fato de ouvir música durante trechos da prova poderiam promover alterações na velocidade ao longo do trajeto e conseqüentemente interferir no  *pacing* . A música foi ouvida nos 1500 metros iniciais ou finais de uma prova de corrida de 5 km, e verificou-se que houve aumento significativo da velocidade no trecho inicial ( $p < 0,05$ ) e redução nos pensamentos associativos, quando comparados com a situação sem música e com música no final, sugerindo que a música foi eficaz em alterar o foco de atenção de uma possível sensação de fadiga periférica apenas quando as sensações de fadiga não eram tão intensas. Estes achados corroboram com achados de Mauger et al.<sup>60</sup>, que em um estudo comparativo entre feedbacks corretos e incorretos em provas de ciclismo CR de 4 km, sugeriram que indivíduos motivados tendem a aumentar seu limite de tolerância ao esforço o mais próximo possível de seu limite fisiológico real. Este fato decorre do diagrama teórico de limiar de proteção, o qual baseia-se na hipótese de que o ser humano, quando submetido ao esforço, apresenta em primeira instância um limite máximo obtido voluntariamente, mas pode ser ultrapassado até um limite superior graças aos fatores motivacionais. Este “novo limite máximo” diz respeito ao real limite fisiológico do indivíduo, que sendo ultrapassado pode gerar sérios danos ao organismo.

Quanto a competitividade, Bath et al.<sup>7</sup> demonstraram que a presença de outro corredor durante a execução de um CR não se mostrou capaz de alterar o *pacing*, frequência cardíaca, PSE e velocidade da corrida. O que contradiz os resultados com ciclistas obtidos recentemente por Corbett et al.<sup>19</sup>, onde constatou-se que o tipo de competição “homem-a-homem” incentiva os participantes a melhorar seu *pacing* auto-selecionado e, conseqüentemente, o desempenho. Isso ocorre principalmente através de um maior rendimento energético anaeróbio, que parece ser mediado centralmente, e é consistente com o conceito de reserva fisiológica. Esse último corrobora com Tucker e Noakes<sup>29</sup>, que defendem a idéia do *pacing* sofrer interferência de ambientes competitivos.

#### 4. RITMO CIRCADIANO

Outro fator que merece destaque diz respeito a uma possível relação entre as diferentes fases do dia e o *pacing*. A fase do dia corresponde a qualquer ponto no tempo, dentro de um determinado período do dia (manhã, tarde ou noite), a qual segue um ritmo circadiano e refere-se às mudanças cíclicas que se repetem regularmente manifestadas por alterações endógenas e influenciadas por fatores externos durante 24 horas ( $\pm 4$  horas)<sup>61</sup>. Recente estudo de Fernandes et al.<sup>62</sup> foi o primeiro que se propôs avaliar os efeitos da fase do dia no desempenho, *pacing*, respostas hormonais e metabólicas durante uma prova CR de 1000-m. Na ocasião, os autores evidenciaram menor tempo para completar a prova na fase da tarde em comparação a fase da manhã ( $88.2 \pm 8.7$  versus  $94.7 \pm 10.9$  s, respectivamente,  $p < 0.05$ ), embora o *pacing* não apresentou diferenças entre as fases. Ainda, as concentrações de GH e glicose foram superiores durante a tarde ( $p < 0.05$ ), sugerindo melhora do desempenho nesta fase em detrimento da manhã.

A dificuldade experimental de quantificar os ritmos circadianos no desempenho em todo o período do dia<sup>63</sup> com controle rigoroso das condições ambientais em laboratório ou testes simulados tem sido um fator limitante e, portanto, tem levado os pesquisadores a considerar os efeitos da fase do dia no desempenho<sup>62,63, 64</sup>. É de conhecimento científico estudos que avaliaram o ritmo circadiano em repouso nos parâmetros cardiovascular<sup>65-67</sup>, respiratório<sup>62, 65</sup>, consumo de oxigênio<sup>62, 63, 65</sup>, secreções hormonais<sup>62, 68, 69</sup> e no humor<sup>65</sup>. Entretanto, apenas alguns estudos investigaram essa possível relação do ritmo circadiano no desempenho,

especificamente no  *pacing* <sup>62</sup>, flexibilidade<sup>63</sup>, força<sup>65, 67</sup> e potência anaeróbia através do teste  *wingate* <sup>70, 71</sup>.

Giacomoni et al.<sup>72</sup> analisaram o efeito da fase do dia no desempenho de testes  *Wingate*  e nos padrões de recuperação após esforço de curta-duração, através de dez  *sprints*  máximos de 6 s intercalados por 30 s de recuperação no período da manhã (8h – 10h) e da tarde (17h – 19h), em dias separados. A fase do dia não influenciou nenhum dos índices de desempenho neuromuscular, apesar da eficiência mecânica ter demonstrado maior diminuição durante a tarde comparada à manhã (-9,5% vs. -2,2%, respectivamente,  $p < 0,05$ ). Ainda, durante a tarde foi demonstrada maior incidência de fadiga com bases nos valores de contração voluntária máxima - CVM (10,2% vs 7,5%, respectivamente), sugerindo que os padrões de recuperação das funções neuromusculares são menores no período da tarde.

Apesar de toda preocupação em avaliar as influências circadianas os autores não mensuraram o  *pacing*  adotado pelos atletas, uma vez que os testes de saltos ( *Jump test* ), testes anaeróbios ( *Wingate test* ) ou testes até a exaustão apresentam pouca validade ecológica e não são indicados para avaliar o  *pacing*  segundo Giacomoni et al.,<sup>72</sup>. Ressalta-se ainda que dentre os estudos cujos desenhos experimentais objetivaram verificar a relação entre ritmo circadiano e o desempenho, poucos demonstraram análises robustas sobre mecanismos fisiológicos que poderiam explicar a melhora na fase vespertina<sup>72-79</sup>.

Não há consenso sobre o melhor horário para otimização do desempenho em um dado evento, haja visto que cronotipos diferentes (vespertinos ou matutinos) podem apresentar comportamentos distintos para a mesma tarefa. Baseado no estudo de Fernandes et al.<sup>62</sup>, mesmo os cronotipos intermediários ou moderadamente matutinos resultaram em melhora do desempenho durante a tarde, sugerindo que o estado metabólico parece ser capaz de sobrepor a predisposição inata do indivíduo. Além disso, é importante considerar os sistemas fisiológicos cruciais ao resultado final, já que os diferentes componentes rítmicos atingem seus picos em horários diferentes do dia<sup>64</sup>.

Apesar dos já demonstrados fatores que influenciam o desempenho (ver item 3), alguns autores sugerem evidências que associam o melhor desempenho na fase vespertina ao valores mais elevados da temperatura corporal<sup>62, 66, 80</sup>, ratificando a provável relação com as respostas metabólicas intramuscular mais aceleradas e consequente maior geração de força<sup>74-76</sup>. Tal relação também pode apresentar-se



de maneira inversa, ao passo que as menores médias de desempenho físico e velocidade da atividade cerebral podem estar relacionadas às horas de menor temperatura corporal <sup>81,82</sup>. Esta idéia corrobora com a sugerida por Racinais <sup>79</sup>, o qual demonstra que o desempenho em eventos de curta duração (< 1 minuto) parece ser melhor no período da tarde (entre as 16h e 20h), comparado ao da manhã (6h às 10h), enquanto que nos exercícios de longa duração, o período do dia não parece exercer grande influência quando realizados em ambientes neutros.

De qualquer forma, não podemos falar de um único e simples ritmo para o desempenho físico, já que além das influências da temperatura corporal e dos diferentes horários de pico presentes nas variáveis fisiológicas, outros fatores tais como a motivação, a alimentação e as próprias interações sociais podem gerar um grande impacto no nível do desempenho e influenciar os seus resultados (ver item 3) <sup>64</sup>. Todavia, é importante ressaltar que até o presente momento apenas um estudo se propôs verificar as possíveis influências de diferentes fases do dia sobre o *pacing*, desempenho, respostas hormonais e metabólicas em provas CR de ciclismo de curta duração, impossibilitando, desta forma, uma conclusão mais detalhada sobre o assunto.

## CONCLUSÃO

Eventos atléticos de características cíclicas de curta duração (< 1 minuto) podem ser beneficiados a partir de um *pacing* “all-out”, especialmente no ciclismo. Já em tarefas de moderada duração (2 – 4 minutos), recomenda-se o *pacing* positivo. Provas consideradas de média à longa duração (> 4 minutos), as evidências apontam o *pacing* negativo como um dos mais utilizados. Além do *pacing* negativo, outras evidências sugerem a estratégia constante como ideal para eventos com duração mais prolongada (> 4 minutos), ainda que alguns autores já tenham demonstrado a adoção deste tipo de *pacing* em provas com durações a partir de 2 minutos<sup>1</sup>. Quanto ao *pacing* variado, usualmente adotado na intenção de contrabalancear as variações externas <sup>41</sup>, deve ser alinhado intimamente com as mudanças fisiológicas que ocorrem no indivíduo frente ao esforço, onde há trajetos de maior exigência da potência e, portanto, maior demanda energética da tarefa, desde que esta alteração na potência não ultrapasse  $\pm 5\%$  da potência média de prova. As estratégias parabólicas (U, J e J inverso) ainda são pouco evidentes na

literatura, e são comumente confundidas com junções de diferentes pacings, mas, de modo geral, parecem ideais em provas de longa duração.

Os mecanismos de regulação destas estratégias baseiam-se na complexa relação entre os sistemas central e periférico, a partir dos processos de teleantecipação, os quais evitam exaustão precoce antes de se alcançar o ponto final da tarefa graças aos ajustes constantes do esforço, levando em consideração as reservas e taxas metabólicas atuais e o tempo necessário para finalizar o exercício. A partir desse modelo, sugere-se que o *pacing* naturalmente escolhido por um atleta parece ser determinado de maneira subconsciente pelo SNC, e que a medida produto dessa integração entre sistemas periférico e central reflete na PSE.

Em um dado momento da prova as condições do ambiente (tais como, temperatura, hiperóxia, hipóxia, duração do evento, luz, som, ventos, feedback externo e competitividade) bem como as do sujeito (experiências prévias, percepção de esforço e fatores motivacionais) representam componentes capazes de exercer influência sobre o *pacing* e, conseqüentemente no desempenho. Sabe-se ainda que o ritmo circadiano apresenta-se bem relacionado ao desempenho, testes de flexibilidade, força e capacidade anaeróbia, de modo que alguns fatores, em especial a temperatura corporal, parecem interferir no resultado final. Entretanto, até o presente momento só um relato na literatura sobre os efeitos da fase do dia no *pacing*, desempenho e nas respostas fisiológicas e metabólicas, reafirmando a importância de novos estudos que se proponham elucidar as atuais lacunas científicas do presente tema.

## REFERÊNCIAS

1. Foster C, Snyder AC, Thompson NN, *et al.* Effect of *pacing* strategy on cycle time trial performance. *Med Sci Sports Exerc* 1993;25:383–8.
2. Foster C, *et al.* *Pacing* strategy and athletic performance. *Sports Med* 1994; 17(2):77-85.
3. Koning JJ, Bobbert MF, Foster C. Determination of optimal *pacing* strategy in track cycling with an energy flow model. *J Sci Med Sport* 1999;2:266–77.
4. Atkinson G, Peacock O, Law M. Acceptability of power variation during a simulated hilly time trial. *Int J Sports Med* 2007;28(2):157-63.
5. Chapman RF, Stickford JL, Levine BD. Altitude training considerations for the winter sport Athlete. *Exp Physiol* 2009; 95(3):411–421.

6. Lima-Silva AE, Silva-Cavalcante MD, Pires FO, Bertuzzi R, Oliveira RS, Bishop D. Listening to Music in the First, but not the Last 1.5 km of a 5-km Running Trial Alters *Pacing* Strategy and Improves Performance. *Int J Sports Med* 2012 May 16. [Epub ahead of print]
7. Bath D, Turner LA, Bosch AN, Tucker R, Lambert EV, Thompson KG, St Clair Gibson A. The effect of a second runner on *pace* strategy and RPE during a running time trial. *Int J Sports Physiol Perform* 2012;7(1):26-32.[abstract]
8. Muehlbauer T, Schindler C, Panzer S. *Pacing* and sprint performance in speed skating during a competitive season. *Int J Sports Physiol Perform* 2010 Jun;5(2):165-76.[abstract]
9. Saavedra JM, Escalante Y, Garcia-Hermoso A, Arellano R, Navarro F. A twelve-year analysis of *pace* strategies in 200 m and 400 m individual medley in international swimming competitions. *J Strength Cond Res* 2012 Jan 3. [Epub ahead of print][abstract].
10. Herbst L, Knechtle B, Lopez CL, Andonie JL, Fraire OS, Kohler G, Rüst CA, Rosemann T. *Pacing* Strategy and Change in Body Composition during a Deca Iron Triathlon. *Chin J Physiol* 2011 Aug 31;54(4):255-63.
11. Le Meur Y, Dorel S, Baup Y, Guyomarch JP, Roudaut C, Hauswirth C. Physiological demand and *pace* strategy during the new combined event in elite pentathletes. *Eur J Appl Physiol* 2011 Nov 12.[abstract]
12. March DS, Vanderburgh PM, Titlebaum PJ, Hoops ML. Age, sex, and finish time as determinants of *pace* in the marathon. *J Strength Cond Res* 2011;25(2):386-91. [abstract]
13. Le Meur Y, Bernard T, Dorel S, Abbiss CR, Honnorat G, Brisswalter J, Hauswirth C. Relationships between triathlon performance and *pace* strategy during the run in an international competition. *Int J Sports Physiol Perform* 2011;6(2):183-94.[abstract]
14. Hauswirth C, Le Meur Y, Bieuzen F, Brisswalter J, Bernard T. *Pacing* strategy during the initial phase of the run in triathlon: influence on overall performance. *Eur J Appl Physiol* 2010;108(6):1115-23.
15. Vleck VE, Bentley DJ, Millet GP, Bürgi A. *Pacing* during an elite Olympic distance triathlon: comparison between male and female competitors. *J Sci Med Sport* 2008;11(4):424-32.

16. Yaicharoen P, Wallman K, Bishop D, Morton A. The effect of warm up on single and intermittent-sprint performance. *J Sports Sci* 2012;30(8):833-40.
17. Martin L, Lambeth-Mansell A, Beretta-Azevedo L, Holmes LA, Wright R, St Clair Gibson A. Even Between-Lap *Pacing* Despite High Within-Lap Variation During Mountain Biking. *Int J Sports Physiol Perform* 2012 Feb 16. [Epub ahead of print] [abstract]
18. Boswell GP. Power variation strategies for cycling time trials: a differential equation model. *J Sports Sci* 2012;30(7):651-9.
19. Corbett J, Barwood MJ, Ouzounoglou A, Thelwell R, Dicks M. Influence of competition on performance and *pacing* during cycling exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2012 Mar;44(3):509-15.[abstract]
20. Renfree A, West J, Corbett M, Rhoden C, St Clair Gibson A. Complex Interplay Between Determinants of *Pacing* and Performance During 20 km Cycle Time Trials. *Int J Sports Physiol Perform* 2011 Dec 12. [Epub ahead of print][abstract]
21. Micklewright D, Angus C, *et al.* *Pacing* strategy in schoolchildren differs with age and cognitive development. *Med Sci Sports Exerc* 2012; 44 (2): 362-9.
22. Williams CA, Bailey SD, Mauger AR. External exercise information provides no immediate additional performance benefit to untrained individuals in time trial cycling. *Br J Sports Med* 2012 Jan;46(1):49-53.
23. St Clair Gibson A, Lambert EV, Rauch LH, Tucker R, Baden DA, Foster C, Noakes TD. The role of information processing between the brain and peripheral physiological systems in *pacing* and perception of effort. *Sports Med* 2006;36 (8):705-22.
24. Abbiss CR, Laursen PB. Describing and understanding *pacing* strategies during athletic competition. *Sports Med* 2008;38(3):239-52.
25. Ulmer HV. Concept of an extracellular regulation of muscular metabolic rate during heavy exercise in humans by psychophysiological feedback. *Experientia* 1996; 52: 416-20.
26. St Clair Gibson A, Noakes TD. Evidence for complex system integration and dynamic neural regulation of skeletal muscle recruitment during exercise in humans. *Br J Sports Med.* 2004;38(6):797-806.
27. Aisbett B, Le Rossignol P, McConell GK, Abbiss CR, Snow R. Effects of starting strategy on 5-min cycling time-trial performance. *J Sports Sci* 2009;27(11):1201-9.

28. Aisbett B, Lerossignol P, McConell GK, Abbiss CR, Snow R. Influence of all-out and fast start on 5-min cycling time trial performance. *Med Sci Sports Exerc* 2009;41(10):1965-71.
29. Tucker R, Noakes TD. The physiological regulation of  *pacing*  strategy during exercise: a critical review. *Br J Sports Med* 2009;43(6):e1.
30. Van Ingen Schenau GJ, de Koning JJ, de Groot G. The distribution of anaerobic energy in 1000 and 4000 metre cycling bouts. *Int J Sports Med* 1992; 13 (6): 447-51.
31. Foster C, *et al.* Effect of competitive distance on energy expenditure during simulated competition. *Inter J Sports Med* 2004; 25: 198-204.
32. Atkinson G, Davison R, Jeukendrup A, Passfield L. Science and cycling: current knowledge and future directions for research. *J Sports Sci* 2003;21(9):767-87.
33. Atkinson G, Brunskill A.  *Pacing*  strategies during a cycling time trial with simulated headwinds and tailwinds. *Ergonomics* 2000;43(10):1449-60.
34. Corbett J. An analysis of the  *pacing*  strategies adopted by elite athletes during track cycling. *Int J Sports Physiol Perform* 2009;4(2):195-205.
35. Tucker R, Lambert MI, Noakes TD. An analysis of  *pacing*  strategies during men's world-record performances in track athletics. *Int J Sports Physiol Perform* 2006; 1(3):233-45.[abstract].
36. Sandals LE, Wood DM, Draper SB, James DV. Influence of  *pacing*  strategy on oxygen uptake during treadmill middle-distance running. *Int J Sports Med* 2006 Jan;27(1):37-42.
37. Mattern CO, Kenefick RW, Kertzer R, *et al.* Impact of starting strategy on cycling performance. *Int J Sports Med* 2001; 22(5):350-5.
38. Nikolopoulos V, Arkinstall MJ, Hawley JA.  *Pacing*  strategy in simulated cycle time-trials is based on perceived rather than actual distance. *J Sci Med Sport* 2001;4(2):212-9.
39. Albertus Y, Tucker R, St Clair Gibson A, Lambert EV, Hampson DB, Noakes TD. Effect of distance feedback on  *pacing*  strategy and perceived exertion during cycling. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37(3):461-8.
40. Zamparo P, Bonifazi M, Faina M, *et al.* Energy cost of swimming of elite long-distance swimmers. *Eur J Appl Physiol* 2005; 94(5-6):697-704.
41. Swain DP. A model for optimizing cycling performance by varying power on hills and in wind. *Med Sci Sports Exerc* 1997; 29(8):1104-8.

42. Perrey S, Grappe F, Girard A, *et al.* Physiological and metabolic responses of triathletes to a simulated 30-min time-trial in cycling at self-selected intensity. *Int J Sports Med* 2003; 24(2): 138-43.
43. Garland SW. An analysis of the  *pacing* strategy adopted by elite competitors in 2000 m rowing. *Br J Sports Med* 2005;39(1):39-42.
44. Abbiss C R, Burnett A, Nosaka K, Green J P, Foster J K, Laursen P B. Effect of hot versus cold climates on power output, muscle activation, and perceived fatigue during a dynamic 100-km cycling trial. *J Sports Sci* 2010; 28(2):117-25.
45. Tucker R, Rauch L, Harley YXR, *et al.* Impaired exercise performance in the heat is associated with an anticipatory reduction in skeletal muscle recruitment. *Pflugers Arch* 2004; 448: 422-30.
46. Tucker R. The anticipatory regulation of performance: the physiological basis for  *pacing* strategies and the development of a perception-based model for exercise performance. *Br J Sports Med* 2009; 43:392-400.
47. Hettinga FJ, de Koning JJ, Hulleman M, Foster C. Relative importance of  *pacing* strategy and mean power output in 1500-m self-paced cycling. *Br J Sports Med* 2012;46(1):30-5.
48. Hettinga FJ, De Koning JJ, Schmidt LJ, Wind NA, Macintosh BR, Foster C. Optimal  *pacing* strategy: from theoretical modelling to reality in 1500-m speed skating. *Br J Sports Med* 2011;45(1):30-5.
49. Ramalho CMR. Psicodrama e dinâmica de grupo. São Paulo, Ed. Iglu: 2010 (no prelo) in: O que é Psicodrama?. Texto extraído da Internet [[http://profint.com.br/artigos/Psicodrama\\_dg.pdf](http://profint.com.br/artigos/Psicodrama_dg.pdf)] em Ago de 2012.
50. Joseph T, *et al.* Perception of fatigue during simulated competition. *Med Sci Sports Exerc* 2008; 40:381-386.
51. Lima-Silva AE, De-Oliveira FR, Nakamura FY, Gevaerd MS. Effect of carbohydrate availability on time to exhaustion in exercise performed at two different intensities. *Braz J Med Biol Res.* 2009; 42:404-412.
52. Lima-Silva AE, Bertuzzi RC, Pires FO, Barros RV, Gagliardi JF, Hammond J, Kiss MA, Bishop DJ. Effect of performance level on  *pacing* strategy during a 10-km running race. *Eur J Appl Physiol* 2010; 108(5):1045-53.
53. Faulkner J, Parfitt G, Eston R. The rating of perceived exertion during competitive running scales with time. *Psychophysiology* 2008;45(6):977-85.

54. Ely BR, Cheuvront SN, Kenefick RW, Sawka MN. Aerobic performance is degraded, despite modest hyperthermia, in hot environments. *Med Sci Sports Exerc* 2010; 42(1):135-41.
55. Millet *et al.* Severe hypoxia affects exercise performance independently of afferent feedback and peripheral fatigue. *J Appl Physiol* 2012. 112:(8)1335-1344. [abstract]
56. Tucker R, Kayser B, Rae E, Rauch L, Bosch A, Noakes T. Hyperoxia improves 20 km cycling time trial performance by increasing muscle activation levels while perceived exertion stays the same. *Eur J Appl Physiol* 2007; 101:771–781.
57. Kriel Y, Hampson DB, Lambert EV, Tucker R, Albertus Y, Claassen A, St Clair Gibson A. Visual stimulus deprivation and manipulation of auditory timing signals on *pace* strategy. *Percept Mot Skills* 2007 Dec;105(3 Pt 2):1227-41.[abstract]
58. Wittekind AL, Micklewright D, Beneke R. Teleoanticipation in all-out short-duration cycling. *Br J Sports Med* 2011;45(2):114-9.
59. Atkinson G, Peacock O, St Clair Gibson A, Tucker R. Distribution of power output during cycling: impact and mechanisms. *Sports Med* 2007;37(8):647-67.
60. Mauger AR, Jones AM, Williams CA. The effect of non-contingent and accurate performance feedback on *pace* and time trial performance in 4-km track cycling. *Br J Sports Med* 2011;45(3):225-9.
61. Reilly T, Atkinson G, Waterhouse J. Exercise, circadian rhythms and hormones. *Sports Endocrinology* 2000, p. 391-420.
62. Fernandes AL, Lopes-Silva JP, Bertuzzi R, Casarini DE, Arita DY, et al. (2014) Effect of Time of Day on Performance, Hormonal and Metabolic Response during a 1000-M Cycling Time Trial. *PLoS ONE* 9(10): e109954.
63. Winget CM, DeRoshia CW, Holley DC. Circadian rhythms and athletic performance. *Med Sci Sports Exerc* 1985; 17 (5): 498-516.
64. Minati A, Santana MG, Mello MT. A influência dos ritmos circadianos no desempenho físico. *R Bras Ciencia e Mov* 2006; 14(1): 75-86.
65. Atkinson G, Reilly T. Circadian variation in sports performance. *Sports Med* 1996; 21(4): 292-312.
66. Reilly T. Human circadian rhythms and exercise. *Biomedical Engineering* 1990; 18: 165-179.
67. Reilly T, Atkinson G, Waterhouse J. *Biological rhythms and exercise*. Oxford University Press: New York, 1997, 162 p.

68. Javierre C, Ventura JL, Segura R, Calvo M, Garrido E. Is the postlunch dip in sprinting performance associated with the timing of food ingestion? *Rev Esp Fisiol* 1996; 52(4): 247- 253.
69. Leatt P, Reilly T, Troup JD. Spinal loading during circuit weight-training and running. *Br J Sports Med* 1986; 20(3): 119-124.
70. Hill DW, Smith JC. Circadian rhythm in anaerobic power and capacity. *Can J Sports Sci* 1991; 16(1): 30-32.
71. Reilly T, Down A . Investigation of circadian rhythm in anaerobic power and capacity of the legs. *J Sports Med Phys Fitness* 1992; 32(4):343-347.
72. Giacomoni M, Billaut F, Falgairette G. Effects of the time of day on repeated all-out cycle performance and short-term recovery patterns. *Int J Sports Med* 2006;27(6):468-74.
73. Bessot N, Nicolas A, Moussay S, Gauthier A, Sesboue B, Davenne D. The effect of pedal rate and time of day on the time to exhaustion from highintensity exercise. *Chronobiol Int* 2006; 23: 1009–1024.
74. Souissi N, Bessot N, Chamari K, Gauthier A, Sesboüé B, Davenne D. Effect of time of day on aerobic contribution to the 30-s Wingate test performance. *Chronobiol Int* 2007;24:739–748.
75. Souissi N, Gauthier A, Sesboüé B, Larue J, Davenne D. Circadian rhythms in two types of anaerobic cycle leg exercise: force-velocity and 30-s Wingate tests. *Int J Sports Med* 2004; 25:14–19.
76. Souissi N, Driss T, Chamari K, Vandewalle H, Davenne D, Gam A, Fillard JR, Jousselin E. Diurnal variation in Wingate test performances: influence of active warm-up. *Chronobiol Int* 2010; 27:640–652.
77. Racinais S, Blonc S, Jonville S, Hue O. Time-of-day influences the environmental effects on muscle force and contractility. *Med Sci Sports Exerc* 2005a; 37:256–261.
78. Racinais S, Connes P, Bishop D, Blonc S, Hue O. Morning versus evening power output and repeated-sprint ability. *Chronobiol Int* 2005b; 22:1029–1039.
79. Racinais S. Different effects of heat exposure upon exercise performance in the morning and afternoon. *Scand. J Med Sci Sports* 2010; 20:80–89.
80. Moore RY. Circadian rhythms: basics neurobiology and clinical applications. *Annu Rev Med.* 1997; 48: 253-266.



81. Kanaley JA, Weltman JY, Pieper KS, Weltman A, Hartman ML. Cortisol and growth hormone responses to exercise at different times of day. *J Clin Endocrinol Metab* 2001; 86: 2881-2889.
82. Monk TH, Buysse DJ, Reynolds CF, Berga SL, Jarrett DB, Begley AE, *et al.* Circadian rhythms in human performance and mood under constant conditions. *J Sleep Res* 1997; 6(1): 9-18.